

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP2005/014010

International filing date: 01 August 2005 (01.08.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2005-021742
Filing date: 28 January 2005 (28.01.2005)

Date of receipt at the International Bureau: 29 September 2005 (29.09.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2005年 1月28日

出 願 番 号
Application Number: 特願2005-021742

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

J P 2005-021742

出 願 人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

2005年 9月 7日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

中 嶋



【書類名】	特許願	
【整理番号】	NTTH166613	
【提出日】	平成17年 1月28日	
【あて先】	特許庁長官	殿
【国際特許分類】	G02B 6/00	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目3番1号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	坂巻 陽平	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目3番1号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	才田 隆志	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目3番1号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	橋本 俊和	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目3番1号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	肥田 安弘	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目3番1号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	石井 元速	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目3番1号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	田村 宗久	
【発明者】		
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町二丁目3番1号	日本電信電話株式会社内
【氏名】	高橋 浩	
【特許出願人】		
【識別番号】	000004226	
【氏名又は名称】	日本電信電話株式会社	
【代理人】		
【識別番号】	100077481	
【弁理士】		
【氏名又は名称】	谷 義一	
【選任した代理人】		
【識別番号】	100088915	
【弁理士】		
【氏名又は名称】	阿部 和夫	
【手数料の表示】		
【予納台帳番号】	013424	
【納付金額】	16,000円	
【提出物件の目録】		
【物件名】	特許請求の範囲	1
【物件名】	明細書	1
【物件名】	図面	1
【物件名】	要約書	1
【包括委任状番号】	9701393	

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

基板上に構成されたコアおよびクラッドからなる光導波路を含み、入力信号光を 2 以上の出力信号光に分岐する光分岐回路において、

前記入力信号光が入力される 1 本の入力光導波路と、

コア幅が非周期的に変動する第 1 の光導波路で構成され、前記入力光導波路に入力された前記入力信号光の一部を高次モードまたは放射モードに結合するモード結合手段と、

前記第 1 の光導波路に接続されコア幅が非周期的に変動する第 2 の光導波路および前記第 2 の光導波路に接続されコア幅が非周期的に変動する 2 以上の分岐光導波路から構成され、前記高次モードまたは放射モードを再結合するモード再結合手段と、

分岐された前記出力信号光を出力する 2 以上の出力光導波路とを備えることを特徴とする光分岐回路。

【請求項 2】

前記コア幅が非周期的に変動する分岐光導波路の隣接する光導波路間の最小間隔は 1. 0 μm 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の光分岐回路。

【請求項 3】

前記コア幅が非周期的に変動する第 1 の光導波路、前記コア幅が非周期的に変動する第 2 の光導波路、および前記コア幅が非周期的に変動する分岐光導波路のコア幅変動量は、それぞれ信号光伝搬方向の単位長さ (1 μm) 当たり $\pm 8.0 \mu\text{m}$ の範囲内であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光分岐回路。

【請求項 4】

前記コア幅が非周期的に変動する第 1 の光導波路、前記コア幅が非周期的に変動する第 2 の光導波路、および前記コア幅が非周期的に変動する分岐光導波路は、光導波路が部分的に消失する箇所を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光分岐回路。

【請求項 5】

前記入力光導波路と前記モード結合手段及び前記モード再結合手段は 1 次モード除去機能を備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の光分岐回路。

【請求項 6】

前記基板はシリコン基板であり、前記光導波路は石英系ガラス光導波路であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の光分岐回路。

【請求項 7】

基板上に構成されたコアおよびクラッドからなる光導波路を含み、入力ポートからの入射光を所望の複数の出力ポートに集光させて出射光とする光分岐回路の設計方法であって

前記光分岐回路を構成する初期屈折率分布を仮定した光回路媒体中において、前記入射光のフィールド分布 1 と、前記出射光を前記出力ポートより仮想的に逆伝播させた光のフィールド分布 2 を求める第 1 のステップと、

前記光回路媒体中の各点において前記フィールド分布 1 と前記フィールド分布 2 との位相差が少なくなるように前記光分岐回路の光導波路のコア幅のみを変化させる第 2 のステップと、

前記出力ポート位置において、前記フィールド分布 1 と前記フィールド分布 2 とが所望の誤差以下となるまで、前記第 1 のステップと前記第 2 のステップを繰り返して前記光分岐回路内の前記光導波路のコア幅を逐次求める第 3 のステップとを備えていることを特徴とする光分岐回路の設計方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】光分岐回路および光分岐回路の設計方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、信号光を分岐するための光分岐回路に関する。

【背景技術】

【0002】

光通信システムの適用領域拡大に伴い、信号光を分岐、合分波、スイッチングするための平面光回路の重要性はますます高まっている。特に、信号光を分岐又は合波する光分岐回路は、光回路における基本構成要素の一つとして必要不可欠なものである。

【0003】

図7は、従来の光分岐回路の構造例を示している。光分岐回路は、入力光導波路71、光導波路分岐部72、分岐光導波路73a、73b及び出力光導波路74a、74bで構成されている（例えば、非特許文献1参照）。入力光導波路71に入力された信号光は、光導波路分岐部72及び分岐光導波路73a、73bで分岐されて、出力光導波路74a、74bへと導かれる。図7に示したような光分岐回路は、その形状からY分岐回路とも呼ばれる。

【0004】

【非特許文献1】Katsunari Okamoto, 「Fundamentals of Optical Waveguides」 2000年 Academic Press（第7, 15図）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、従来の光分岐回路には以下に示す課題があった。

【0006】

従来の光分岐回路では、Y分岐回路の長さを短くして小型化するためには、分岐角75を大きくする必要がある。分岐角75が大きい場合は、光導波路分岐部72において光導波路のコアの幅が急激に拡大する構造となる。このとき、光導波路分岐部72で高次モードが励起される結果、信号光の光結合損失が大きくなるという課題があった。

【0007】

また、上述の高次モードの発生により、信号光の分岐比が所望の設計値から外れて、分岐比が不安定になるという課題があった。これらの理由により、光分岐回路をさらに小型化するには限界があった。また、従来の光分岐回路では、信号光に基底モードに加えて1次モードが混入していた場合にも、実際の分岐比は所望の設計値から外れ、分岐比の精度が大きく劣化するという課題もあった。

【0008】

このように、従来の光分岐回路には、分岐部における光結合損失が大きく、分岐比が不安定であるという課題があった。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決するために、請求項1の発明は、基板上に構成されたコアおよびクラッドからなる光導波路を含み、入力信号光を2以上の出力信号光に分岐する光分岐回路において、前記入力信号光が入力される1本の入力光導波路と、コア幅が非周期的に変動する第1の光導波路で構成され、前記入力光導波路に入力された前記入力信号光の一部を高次モードまたは放射モードに結合するモード結合手段と、前記第1の光導波路に接続されコア幅が非周期的に変動する第2の光導波路および前記第2の光導波路に接続されコア幅が非周期的に変動する2以上の分岐光導波路から構成され、前記高次モードまたは放射モードを再結合するモード再結合手段と、分岐された前記出力信号光を出力する2以上の出力光導波路とを備えることを特徴としている。このような構成とすることで、分岐部における光結合損失が小さい光分岐回路を提供することができる。

【0010】

請求項2に記載の発明は、前記コア幅が非周期的に変動する分岐光導波路の隣接する光導波路間の最小間隔は $1.0\mu\text{m}$ 以上であることを特徴としている。

【0011】

請求項3に記載の発明は、前記コア幅が非周期的に変動する第1の光導波路、前記コア幅が非周期的に変動する第2の光導波路、および前記コア幅が非周期的に変動する分岐光導波路のコア幅変動量は、それぞれ信号光伝搬方向の単位長さ($1\mu\text{m}$)当たり $\pm 8.0\mu\text{m}$ の範囲内であることを特徴としている。このような構成とすることで、既存の光回路作製プロセスで作製することが可能で、分岐部における光結合損失が小さい光分岐回路を提供することができる。

【0012】

請求項4に記載の発明は、前記コア幅が非周期的に変動する第1の光導波路、前記コア幅が非周期的に変動する第2の光導波路、および前記コア幅が非周期的に変動する分岐光導波路は、光導波路が部分的に消失する箇所を含むことを特徴としている。このような構成とすることで、分岐部における光結合損失が小さい光分岐回路を提供することができる。

【0013】

請求項5に記載の発明は、前記入力光導波路と前記モード結合手段及び前記モード再結合手段は1次モード除去機能を備えたことを特徴としている。このような構成とすることで、入力光導波路に光学的に結合した信号光に1次モードが含まれている場合であっても、出力光導波路における信号光の分岐比が変動しない光分岐回路を提供することができる。

【0014】

請求項6に記載の発明は、前記基板はシリコン基板であり、前記光導波路は石英系ガラス光導波路であることを特徴としている。このような構成とすることで、安定で加工性に優れた光分岐回路を提供することができる。

【0015】

請求項7に記載の発明は、基板上に構成されたコアおよびクラッドからなる光導波路を含み、入力ポートからの入射光を所望の複数の出力ポートに集光させて出射光とする光分岐回路の設計方法であって、前記光分岐回路を構成する初期屈折率分布を仮定した光回路媒体中において、前記入射光のフィールド分布1と、前記出射光を前記出力ポートより仮想的に逆伝播させた光のフィールド分布2を求める第1のステップと、前記光回路媒体中の各点において前記フィールド分布1と前記フィールド分布2との位相差が少なくなるように前記光分岐回路の光導波路のコア幅のみを変化させる第2のステップと、前記出力ポート位置において、前記フィールド分布1と前記フィールド分布2とが所望の誤差以下となるまで、前記第1のステップと前記第2のステップを繰り返して前記光分岐回路内の前記光導波路のコア幅を逐次求める第3のステップとを備えていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

以上説明したように、本発明によれば低損失で分岐比が安定な光分岐回路を、従来の光回路製作技術を使って提供できる利点がある。また、従来の光分岐回路より分岐角を大きくできるため、光分岐回路全体のさらなる小型化が実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。尚、本実施形態において、同一機能を有する部分には同一符号を付し、その重複説明は省略する。

【0018】

また、以下の実施形態では光分岐回路はシリコン基板上に形成された石英系ガラス光導波路であるとした。このような組み合わせにすることにより、安定で加工性に優れた光分岐回路を提供できるからである。しかしながら、本発明はこの組み合わせに限定されるも

のではなく、基板として石英基板、サファイア基板、ポリマー基板など、基板上に形成するコアおよびクラッドとして半導体、誘電体、ポリマーなどの材料を用いても、もちろん構わない。

【0019】

以下の実施形態では、コアはクラッドに埋設された例を示しているが、リッジ形状のコアであっても本発明の効果を充分に得ることができる。

【0020】

図1は、本発明の第一実施形態にかかる光分岐回路を基板に対して垂直方向から見た平面図である。z軸は信号光の伝搬方向を示している。図1に示すように、第一実施形態にかかる光分岐回路は、信号光を入力させる1本の入力光導波路11と、入力光導波路11に入力された信号光の一部を高次モードまたは放射モードに結合させるモード結合手段12と、モード結合手段12に光学的に結合した高次モード又は放射モードを、位相を考慮して再結合させるモード再結合手段13と、モード再結合手段13に光学的に結合した信号光を分岐する2本以上の分岐光導波路14a、14bと、分岐光導波路14a、14bに光学的に結合した信号光を出力させる2本以上の出力光導波路15a、15bから構成されている。また、本実施形態では、2本の出力光導波路15a、15bのそれぞれの中心を通る2本の直線を入力光導波路11側に延長した場合に、これら2直線が成す交差角を光分岐回路の分岐角16とする。また、w1はモード再結合手段13中において、信号光伝播方向に沿って隣接する分岐光導波路14a、14bの最小間隔を示している。

【0021】

入力光導波路11および2本の出力光導波路15a、15bは、本発明にかかる光分岐回路の外部にある光ファイバにそれぞれ接続されている。モード結合手段12は、入力導波路11から連続する光導波路で構成され、さらにモード再結合手段13中の光導波路へと連続的に接続されている。また、モード再結合手段13中の光導波路は途中で分岐して、2本以上の分岐光導波路14a、14bを構成している。分岐光導波路14a、14bは、信号光の伝播方向に向かって出力光導波路15a、15bにそれぞれ連続的に接続されている。尚、モード結合作用とモード再結合作用はモード結合手段およびモード再結合部手段の境界部分近傍では、その果たしている作用が連続的に変化しているため、モード結合手段12とモード再結合手段13との間で、その境界は明確に規定していない。したがって、図1においてはモード結合手段12とモード再結合手段13が一部重複した記載となっている。

【0022】

本発明においては、モード結合手段12およびモード再結合手段13内の各光導波路は、それぞれ、そのコア幅が非周期的に変動する構成となっている。すなわち、従来技術のように光分岐回路内各部の光導波路が一定コア幅の直線・曲線のみで構成されるのではなく、光導波路のコア幅が非周期的に変動することを特徴としている。従来技術による光分岐回路においては、分岐比の変動の原因となる高次モードの発生を抑えるために、光導波路はコア幅が一定の直線、曲線、またはテーパなどの単純な形状のみで構成されていた。これに対して、本発明にかかる光分岐回路においては、コア幅を非周期的に変動させることにより、従来避けられていた高次モードを敢えて発生させ、その後再結合させている点に特徴がある。すなわち、後に詳細に説明するように、計算機による繰り返し演算によって非周期的に変動する光導波路のコア幅を求めることで、直線、曲線、テーパ等の既存の要素形状から離れて、回路要素の形状を設計する。これにより、光結合損失が小さく、分岐比が安定して、従来の光分岐回路より格段に小さい光分岐回路が実現可能である。

【0023】

以下、図1に示すモード結合手段12及びモード再結合手段13における、非周期的に変動する光導波路コア幅の設計方法について説明する。変動する光導波路のコア幅は、波動伝達媒体の基本概念を適用して決定する。ここでは、波動伝達媒体の基本概念を光回路へ適用することから、波動伝達媒体中を伝搬する「波動」は「光」である。波動伝達媒体にかかる理論は、一般の波動方程式に基づいて媒質の特性を指定するものであり、一般の

波動においても原理的に成り立ち得るものである。変動する光導波路のコア幅の設計方法を説明するためには記号を用いることにより見通しが良くなるので、各量を表すために以下のような記号を用いる。

【0024】

尚、本発明の分岐回路の設計の対象とされる光（フィールド）は、単一状態の光には限定されない。そこで、複数の状態の光が重畳された光を対象とされ得るべく、個々の状態の光にインデックス j を充てて一般的に表記する。以下の説明においては、図1に示すように、光の伝搬方向の座標軸を z 軸（ $z=0$ が入射面、 $z=z_e$ が出射面）、光の伝搬方向に対して垂直で光分岐回路の形成面に平行な方向の座標軸を x 軸とする。

・ $\Psi^j(x)$: j 番目の入射フィールド（複素ベクトル値関数であり、入射面（ $z=0$ ）において設定する強度分布および位相分布、ならびに、波長及び偏波により規定される。）

・ $\phi^j(x)$: j 番目の出射フィールド（複素ベクトル値関数であり、出射面（ $z=z_e$ ）において設定する強度分布および位相分布、ならびに、波長及び偏波により規定される。）

尚、 $\Psi^j(x)$ 及び $\phi^j(x)$ は、光回路中で強度増幅、波長変換、偏波変換が行われ無い限り、光強度の総和は同じ（あるいは無視できる程度の損失）であり、 $\Psi^j(x)$ 及び $\phi^j(x)$ の波長も偏波も同じである。

・ $\{\Psi^j(x), \phi^j(x)\}$: 入出力ペア（入出力のフィールドの組み。）

$\{\Psi^j(x), \phi^j(x)\}$ は、入射面及び出射面における、強度分布及び位相分布ならびに波長及び偏波により規定される。

・ $\{n_q\}$ 屈折率分布（光回路設計領域全体の値の組。）

【0025】

与えられた入射フィールド及び出射フィールドに対して、屈折率分布を1つ与えたときに光のフィールドが決まるので、 q 番目の繰り返し演算で与えられる屈折率分布全体に対するフィールドを考える必要がある。そこで、 (z, x) で不定変数として、屈折率分布全体を $n_q(z, x)$ と表しても良いが、場所 (z, x) における屈折率の値 $n_q(z, x)$ と区別するために、屈折率分布全体に対しては $\{n_q\}$ と表す。

・ $\Psi^j(z, x, \{n_q\})$: j 番目の入射フィールド $\Psi^j(x)$ を屈折率分布 $\{n_q\}$ 中を z まで伝搬させたときの、場所 (z, x) におけるフィールド値。

・ $\phi^j(z, x, \{n_q\})$: j 番目の出射フィールド $\phi^j(x)$ を屈折率分布 $\{n_q\}$ 中を z まで逆伝搬させたときの、場所 (z, x) におけるフィールド値。

【0026】

本実施形態において、光導波路のコア幅は、すべての j について $\Psi^j(z_e, x, \{n_q\}) = \phi^j(x)$ 、またはそれに近い状態となるように屈折率分布 $\{n_q\}$ が与えられる。「入力ポート」及び「出力ポート」とは、入射端面（ $z=0$ ）及び出射端面（ $z=z_e$ ）におけるフィールドの集中した「領域」であり、例えば、その部分に光ファイバを接続することにより、信号光をファイバに伝搬できるような領域である。ここで、フィールドの強度分布及び位相分布は、 j 番目のものと k 番目のものとで異なるように設計可能であるので、入射端面及び出射端面に複数のポートを設けることができる。さらに、入射フィールドと出射フィールドの組を考えた場合、入射端面と出射端面との間の伝搬により発生する位相差が、光の周波数によって異なるので、周波数が異なる光（すなわち波長の異なる光）については、位相を含めたフィールド形状が同じであるか直交しているかの如何にかかわらず、異なるポートとして設定することができる。

【0027】

ここで、電磁界は、実数ベクトル値の場で、波長と偏光状態をパラメータとして有するが、その成分の値を一般的な数学的取り扱いが容易な複素数で表示し、電磁波の解を表記する。また、以下の計算においては、フィールド全体の強度は1に規格化されているものとする。

【0028】

j 番目の入射フィールド $\Psi^j(z, x, \{n\})$ 及び出射フィールド $\phi^j(z, x, \{n\})$ に対し、伝搬フィールドと逆伝搬フィールドとをそれぞれの場所の複素ベクトル値関数として、 $\Psi^j(z, x, \{n\})$ 及び $\phi^j(z, x, \{n\})$ と表記する。これらの関数の値は、屈折率分布 $\{n\}$ により変化するため、屈折率分布 $\{n\}$ がパラメータとなる。記号の定義により $\Psi^j(x) = \Psi^j(0, x, \{n\})$ 、及び $\phi^j(x) = \phi^j(z_e, x, \{n\})$ となる。これらの関数の値は、入射フィールド $\Psi^j(x)$ 、出射フィールド $\phi^j(x)$ 、及び屈折率分布 $\{n\}$ が与えられれば、ビーム伝搬法などの公知の手法により容易に計算することができる。以下に、空間的な屈折率分布を決定するためのアルゴリズムを説明する。

【0029】

図6は、波動伝達媒体の空間的な屈折率分布を決定するための計算手順を示す。この計算は、繰り返し実行されるので、繰り返し回数を q で表し、 $(q-1)$ 番目までの計算が実行されているときの q 番目の計算が図6の計算手順に示されている。 $(q-1)$ 番目の計算によって得られた屈折率分布 $\{n_{q-1}\}$ をもとに、各 j 番目の入射フィールド $\Psi^j(x)$ 及び出射フィールド $\phi^j(x)$ について、伝搬フィールドと逆伝搬フィールドとを数値計算により求め、その結果を各々、 $\Psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ 及び $\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ と表記する（ステップS2）。これらの結果をもとに、各場所 (z, x) における次式により求められる屈折率 $n_q(z, x)$ に基づいて、位相差に対応する値を最小にするよう光導波路幅を拡大または縮小させる（ステップS4）。

【0030】

$$n_q(z, x) = n_{q-1} - \alpha \sum_j \text{Im} [\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\}) * \Psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})] \quad (1)$$

ここで、上式(1)において右辺第2項中の記号「 \cdot 」は、内積演算を意味し、 $\text{Im}[\]$ は、 $[\]$ 内のフィールド内積演算結果の虚数部分を意味する。尚、記号「 $*$ 」は複素共役である。係数 α は、 $n_q(z, x)$ の数分の1以下の値をさらにフィールドの組の数で割った値である。 \sum_j は、インデックス j について和をとるという意味である。ステップS2とS4とを繰り返し、伝搬フィールドの出射面における値 $\Psi^j(z_e, x, \{n\})$ と出射フィールド $\phi^j(x)$ との差の絶対値が、所望の誤差 d_j よりも小さくなると（ステップS3：YES）計算が終了する。

【0031】

以上の計算では、屈折率分布の初期値 $\{n_0\}$ は適当に設定すればよいが、この初期値 $\{n_0\}$ が予想される屈折率分布に近ければ、それだけ計算の収束は早くなる（ステップS0）。また、各 j について $\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ 及び $\Psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ を計算するにあたっては、パラレルに計算が可能な計算機の場合は、 j ごと（すなわち、 $\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ 及び $\Psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ ごと）に計算すればよいので、クラスタシステム等を利用して計算の効果化を図ることができる（ステップS2）。また、比較的少ないメモリで計算機が構成されている場合は、式(1)のインデックス j についての和の部分で、各繰り返し計算ステップ q において、対象としたすべてのインデックス j の中から適切なインデックス j を選び、選択されたインデックス j の分の $\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ 及び $\Psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ のみを計算して、以降の計算を繰り返すことも可能である（ステップS2）。

【0032】

以上の演算において、 $\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ と $\Psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ の値とが近い場合には、式(1)中の $\text{Im} [\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\}) * \Psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})]$ は伝搬フィールドと逆伝搬フィールドの位相差に対応する値となる。この位相差の値を減少させることで所望の出力を得ることが可能である。すなわち、光導波路のコア幅の決定に際しては、 $(q-1)$ 番目の計算結果の屈折率分布におけるコアとクラッドの境界面において、 $\text{Im} [\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\}) * \Psi^j(z, x, \{n_{q-1}\})]$ の値が小さくなるようにコア幅を拡大もしくは縮小すれば良い（ステップS4）。

【0033】

上述した波動伝達媒体における一般波動方程式に基づいた演算内容を、本発明にかかる

光分岐回路において光導波路のコア幅を決定する観点から要約すると、次のようになる。入力光導波路 1 1 の入力ポートから入力された信号光のフィールドを、入力光導波路 1 1 側から出力光導波路 1 5 側へ伝搬させたフィールド（順伝搬光）を Ψ 、出力光導波路 1 5 の所望の出力ポートから出力される所望の信号光フィールドの位相を反転させたフィールドを、出力光導波路 1 5 側から入力光導波路 1 1 側へ伝搬させたフィールド（逆伝搬光）を ϕ^* とする。ここで、設計する光分岐回路の出力ポートの数がN本である場合を考える。各出力ポートにおける所望の出射フィールドを、出力ポート位置を考慮してN回重ね合わせ、この重ね合わせたフィールドを出射端面における所望のフィールドとすることで、光分岐回路の設計が可能となる。このとき、図 1 に示す z 軸の各位置で順伝搬光 Ψ と逆伝搬光 ϕ^* の位相差が最小となるような屈折率分布を与えれば、入力させた信号光をN本の出力ポートからそれぞれ出力される所望の出力信号光に変換するための最適な光分岐回路を構成することができる。

【0034】

より具体的には、図 1 に示す z 軸の各位置で、コアとクラッドの境界面における順伝搬光と逆伝搬光の位相差（ $\Psi - \phi^*$ ）を計算する。コアとクラッドの境界面における順伝搬光と逆伝搬光の位相差が正である場合（ $\Psi - \phi^* > 0$ ）、光導波路のコア幅を拡大することで Ψ と ϕ^* の位相差を最小化することが可能である。また、コアとクラッドの境界面における順伝搬光と逆伝搬光の位相差が負である場合（ $\Psi - \phi^* < 0$ ）、光導波路のコア幅を縮小することで Ψ と ϕ^* の位相差を最小化することが可能である。

【0035】

上述したように、光導波路のコア幅のみを変化させることにより、波動の散乱を抑制し、信号光の伝播損失の小さい光回路を設計することができる。

【0036】

ここで、分岐光導波路 1 4 a、1 4 b のコア幅の変動により、隣接するこれらの光導波路の間隔が狭くなる場合には、光回路の作製が困難になるという問題が生じる。従って、隣接する分岐光導波路 1 4 a、1 4 b の光導波路間距離の最小値 w_1 は、既存の光回路作製プロセスを使用することを考慮し、 $w_1 \geq 1.0 \mu\text{m}$ を満たすことが望ましい。また、信号光伝搬方向に対して光導波路幅の変化が急峻である場合は、光回路の作製が困難になるという問題が生じる。従って、光導波路のコアの幅の変動は、連続的でなめらかであることが望ましい。さらに、後述するように信号光の波長を考慮して、信号光伝搬方向の単位長さ（ $1 \mu\text{m}$ ）当たり $\pm 8.0 \mu\text{m}$ の範囲内であることが望ましい。

【0037】

一般に、光通信に用いられる信号光の波長は、 $1.3 \sim 1.6 \mu\text{m}$ の範囲である。ここで、光導波路幅の変動が信号光の波長と比較して極端に大きい場合、信号光が基板に対して垂直の方向に散乱されてしまう。このため、信号光の伝播損失が増加する。従って、本発明の特徴である高次モードを励起させ、かつ信号光の散乱を抑制するためには、光導波路幅の変動量を、波長の数倍程度、具体的には $\pm 8.0 \mu\text{m}$ 以内にするのが効果的である。尚、後述するように、コア幅の変動量を、 $\pm 4.0 \mu\text{m}$ 以内に制限した場合であっても十分な効果が得られる。

【0038】

図 1 に示す光分岐回路は、次のような手順により作製した。まず Si 基板上に火炎堆積法などによって SiO_2 下部クラッド層を堆積し、次に GeO_2 をドーパントとして添加した SiO_2 ガラスのコア層を堆積した。次に、前述した設計に基づく図 1 に示すようなパターンを用いてコア層をエッチングして光導波路部分を作製した。最後に、再び SiO_2 上部クラッド層を堆積した。

【0039】

図 1 に示す光分岐回路は、モード結合手段 1 2 及びモード再結合手段 1 3 における光導波路のコアの幅の変動量の上限を、信号光伝搬方向の単位長さ（ $1 \mu\text{m}$ ）当たり $\pm 4.0 \mu\text{m}$ 、分岐光導波路 1 4 a、1 4 b における隣接する光導波路の最小間隔 w_1 を $1.0 \mu\text{m}$ 、分岐角 θ を 2.5° として設計したものである。入力光導波路 1 1 及び出力光導波

路15のコアの幅は7 μ mである。光分岐回路内の光導波路のコアの厚さは6 μ mである。コアの屈折率は1.45523、クラッドの屈折率は1.44428とした。尚、光導波路のコアの幅を変動させた場合に、コアの幅の変動に伴い光導波路が部分的に消滅する箇所を含むことがある。すなわち、本実施形態に係る光回路は、モード結合手段12及びモード再結合手段13が、コアの幅が部分的に0となる光導波路で構成される場合があり、このような構成であっても、十分な光結合損失の低減効果が得られる。

【0040】

図2は、本実施形態に係る別の光分岐回路である。3本の分岐光導波路14a、14b、14c及び出力光導波路15a、15b、15cを備えている点で、図1に示す光分岐回路と異なる。尚、実施形態としては2本および3本の分岐光導波路及び出力光導波路の場合を示したが、これらがそれぞれN本の場合でも実施可能であることはいうまでもない。

【0041】

図3は、本発明の第一実施形態にかかる光分岐回路及び従来例の光分岐回路の信号光の伝搬損失の波長依存性をそれぞれ示している。これは、モード結合手段12及びモード再結合手段13における光導波路のコアの幅の変動量を信号光伝搬方向の単位長さ(1 μ m)当たり $\pm 4.0\mu$ mの範囲内になるように制限し、且つ隣接する分岐光導波路14a、14bの最小間隔w1を1.0 μ mに制限して設計した場合である。尚、光分岐回路の分岐角16は2.5°である。

【0042】

図3より、波長帯域1300~1600nmにおいて、信号光の伝搬損失は0.1dB程度であり、従来技術による光分岐回路と比較して伝播損失が大幅に低減されている。このように、光導波路幅の変動量を1 μ m当たり $\pm 4.0\mu$ mの範囲内になるように設計条件を制限し、且つ隣接する分岐光導波路14a、14bの最小間隔w1を1.0 μ mに制限しても、十分な光結合損失の低減効果が得られる。変動量を $\pm 4.0\mu$ mに抑えることにより、従来の光回路作製プロセスを利用して、大幅な光結合損失の低減を実現できる。

【0043】

図4は、本発明の第二実施形態にかかる光分岐回路を基板に対して垂直方向から見た平面図である。z軸は信号光の伝搬方向を示している。図4に示すように、第二実施形態にかかる光分岐回路は、入力光導波路11と、モード結合手段12と、モード再結合手段13と、2本以上の分岐光導波路14a、14bと、2本以上の出力光導波路15a、15bから構成されており、入力光導波路11とモード結合手段12及びモード再結合手段13には、信号光に含まれる1次モードを除去する機能を付している。1次モード除去機能を備える光導波路のコア幅は、上述したモード結合手段12およびモード再結合手段13と同じ計算手法を用いて設計することが可能である。すなわち、入力光導波路11に入力した信号光中の基底モードには番号0、1次モードには番号1をそれぞれ付すと、光導波路のコア幅の決定に際して、 $(q-1)$ 番目の計算結果の屈折率分布におけるコアとクラッドの境界面において $I_m[\phi^0(z, x, \{n_{q-1}\}) * \Psi^0(z, x, \{n_{q-1}\})]$ の値が小さく、且つ $I_m[\phi^1(z, x, \{n_{q-1}\}) * \Psi^1(z, x, \{n_{q-1}\})]$ の値が大きくなるようにコア幅を拡大もしくは縮小すれば良い。

【0044】

ここで、信号光伝搬方向に対して光導波路幅の変化が急峻である場合は、光回路の作製が困難になるという問題が生じる。従って、光導波路のコアの幅の変動は、連続的でなめらかであり、信号光の波長を考慮し、信号光伝搬方向の単位長さ(1 μ m)当たり $\pm 8.0\mu$ mの範囲内であることが望ましい。さらに、 $\pm 4.0\mu$ m以内に制限しても、後述するように本発明の十分な効果が得られる。図4に示す光分岐回路は、第一実施形態に示した光分岐回路と同じ手順により作製した。

【0045】

図5は、本発明の第二実施形態にかかる光分岐回路に、入力信号光として入力光導波路11の基底モードおよび1次モードの信号光を入力した場合の、信号光伝搬損失の波長依

存性をそれぞれ示している。これは、前記モード結合手段12およびモード再結合手段13における光導波路のコアの幅の変動を信号光伝搬方向の単位長さ(1 μ m)当たり $\pm 4.0\mu$ mの範囲内になるように制限して設計した場合である。尚、光分岐回路の分岐角16は 2.5° である。

【0046】

図5より、波長帯域1300~1600nmにおいて、基底モードの伝搬損失が0.1dB程度しかないのに対し、1次モードの伝搬損失は16dB以上であることが分かる。従って、光分岐回路への入力信号光に1次モードが含まれていても、1次モード除去機能を備えた光導波路によって1次モードが十分に減衰される。したがって、出力光導波路15a、15bには基底モードのみが結合する結果、光分岐回路の分岐比は一定に保たれる。このように、光導波路幅の変動量を1 μ m当たり $\pm 4.0\mu$ mの範囲内になるように設計条件を制限しても、1次モードが十分に減衰されるため、従来の光回路作製プロセスを使用しながら、光分岐回路の分岐比の安定化効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図1】 第一実施形態の光分岐回路の構成を表す図である。

【図2】 第一実施形態に係る別の光分岐回路の構成を表す図である。

【図3】 第一実施形態及び従来例の光分岐回路の伝搬損失の波長依存性を示す図である。

【図4】 第二実施形態の光分岐回路の構成を表す図である。

【図5】 第二実施形態の光分岐回路の伝搬損失の波長依存性を示す図である。

【図6】 屈折率分布を決定するための計算手順を示すフローチャートである。

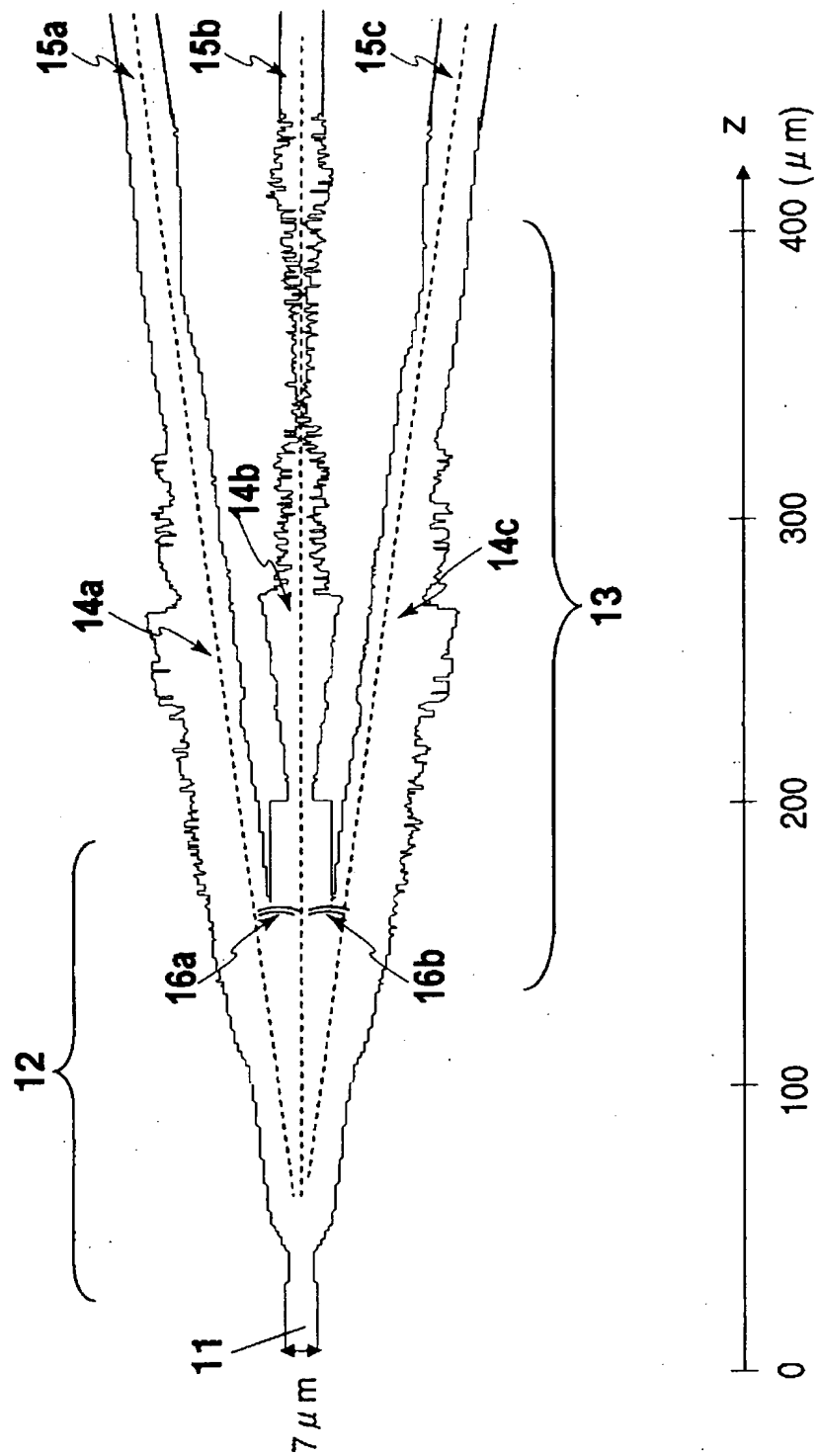
【図7】 従来のY分岐導波路の構成を表す図である。

【符号の説明】

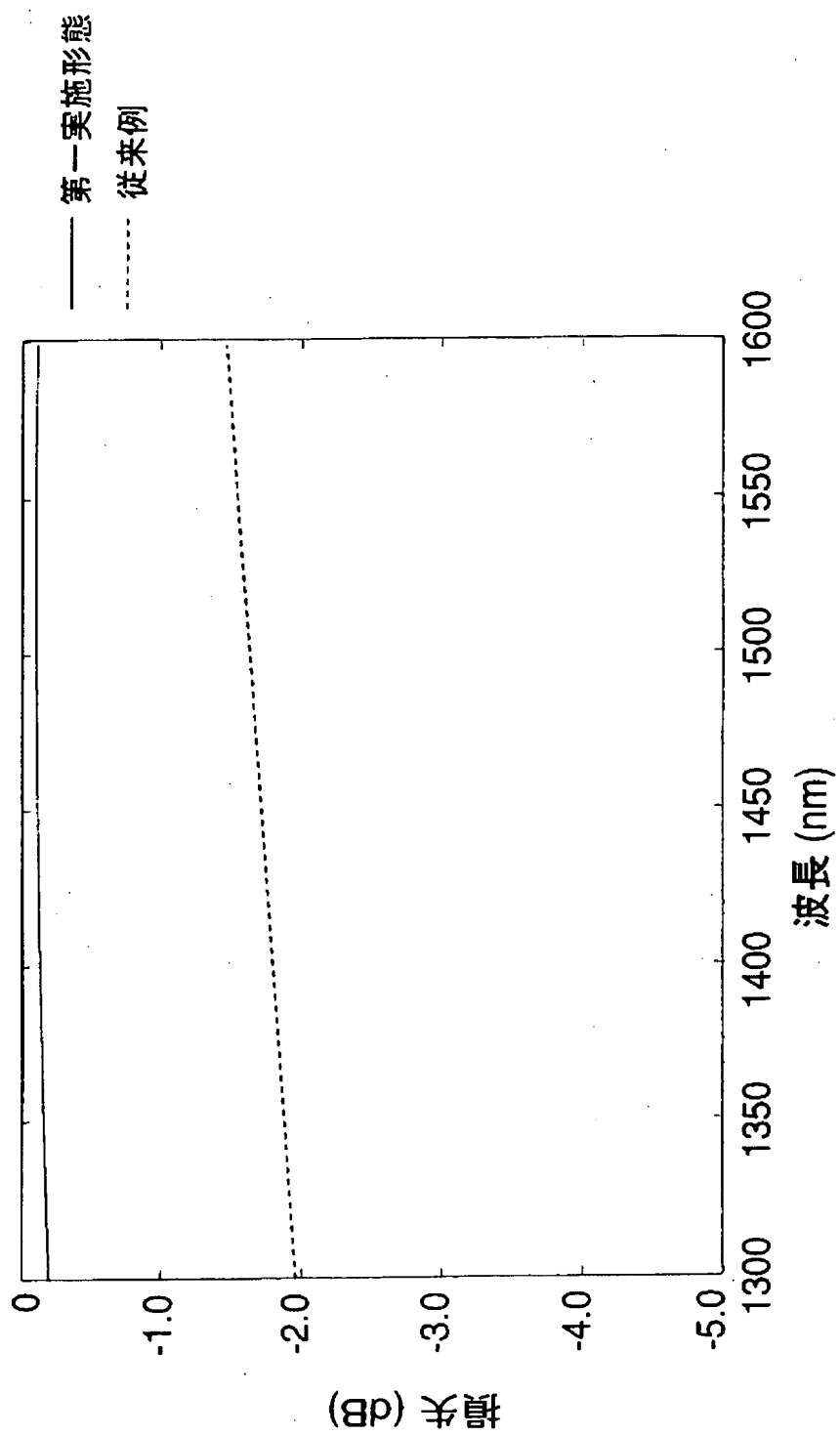
【0048】

- 11、71 入力光導波路
- 12 高次モード又は放射モード結合手段
- 13 高次モード又は放射モード再結合手段
- 14a、14b、14c、73a、73b 分岐光導波路
- 15a、15b、15c、74a、74b 出力光導波路
- 16、75 分岐角
- 72 光導波路分岐部

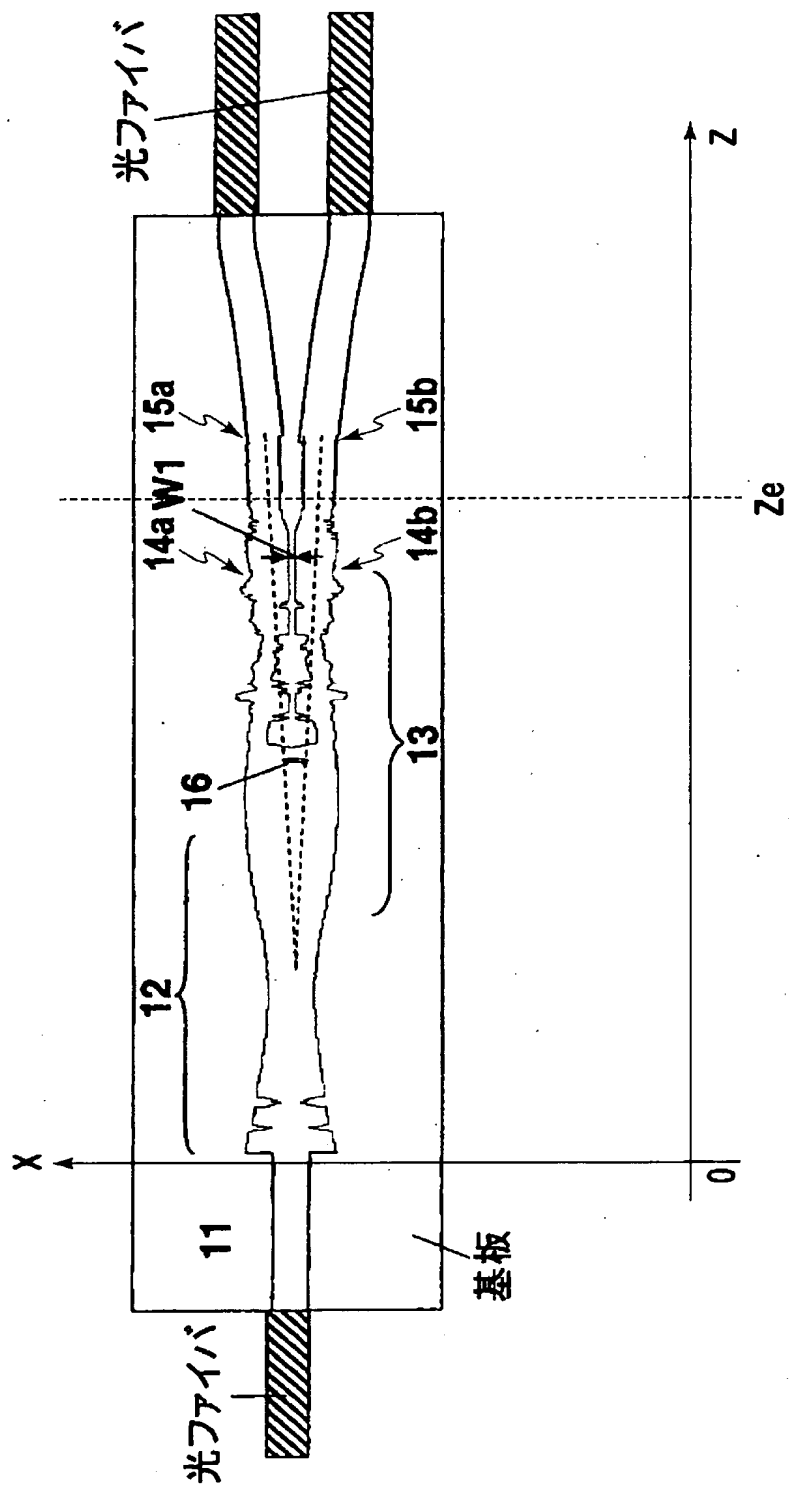
【図 2】



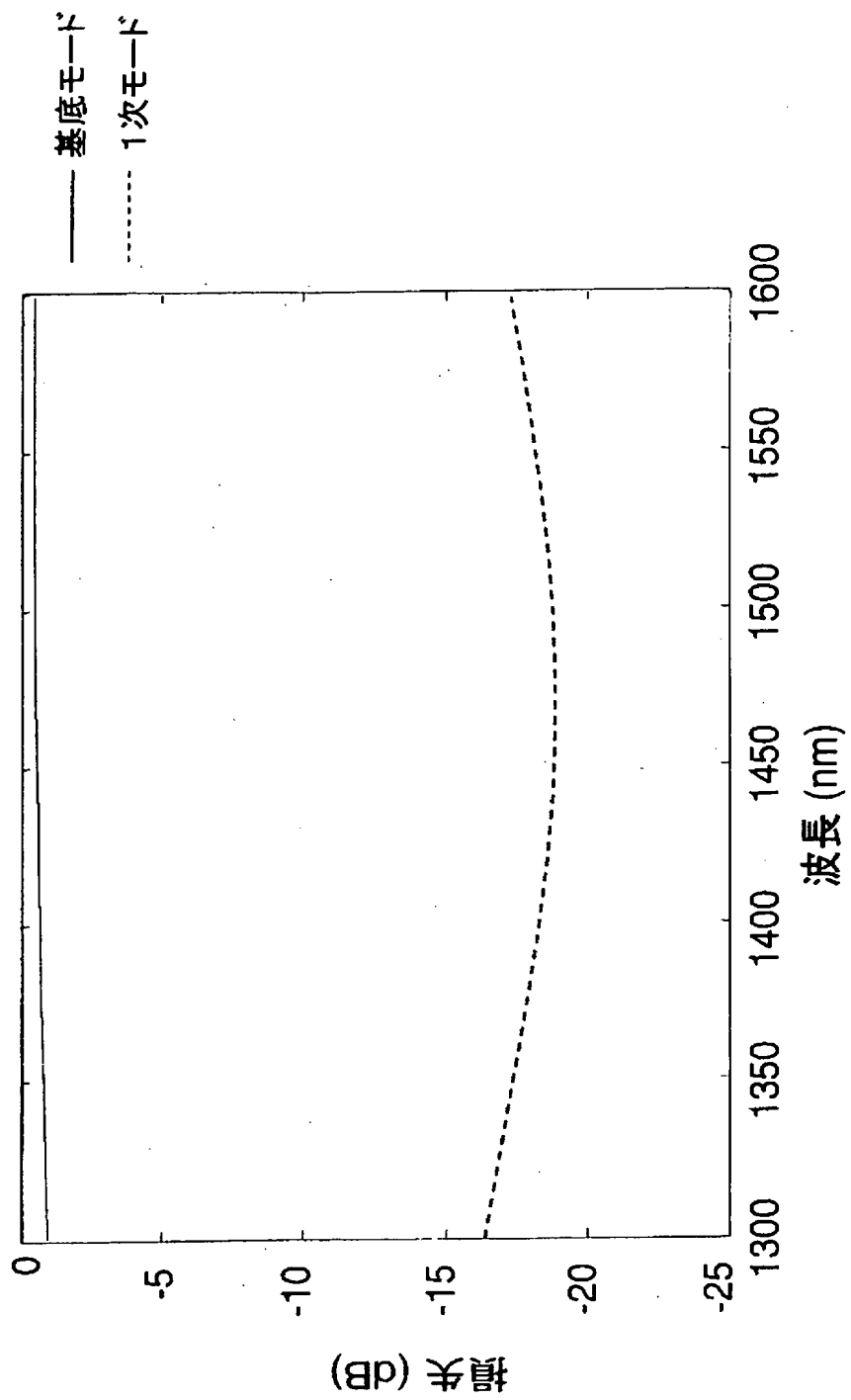
【図 3】

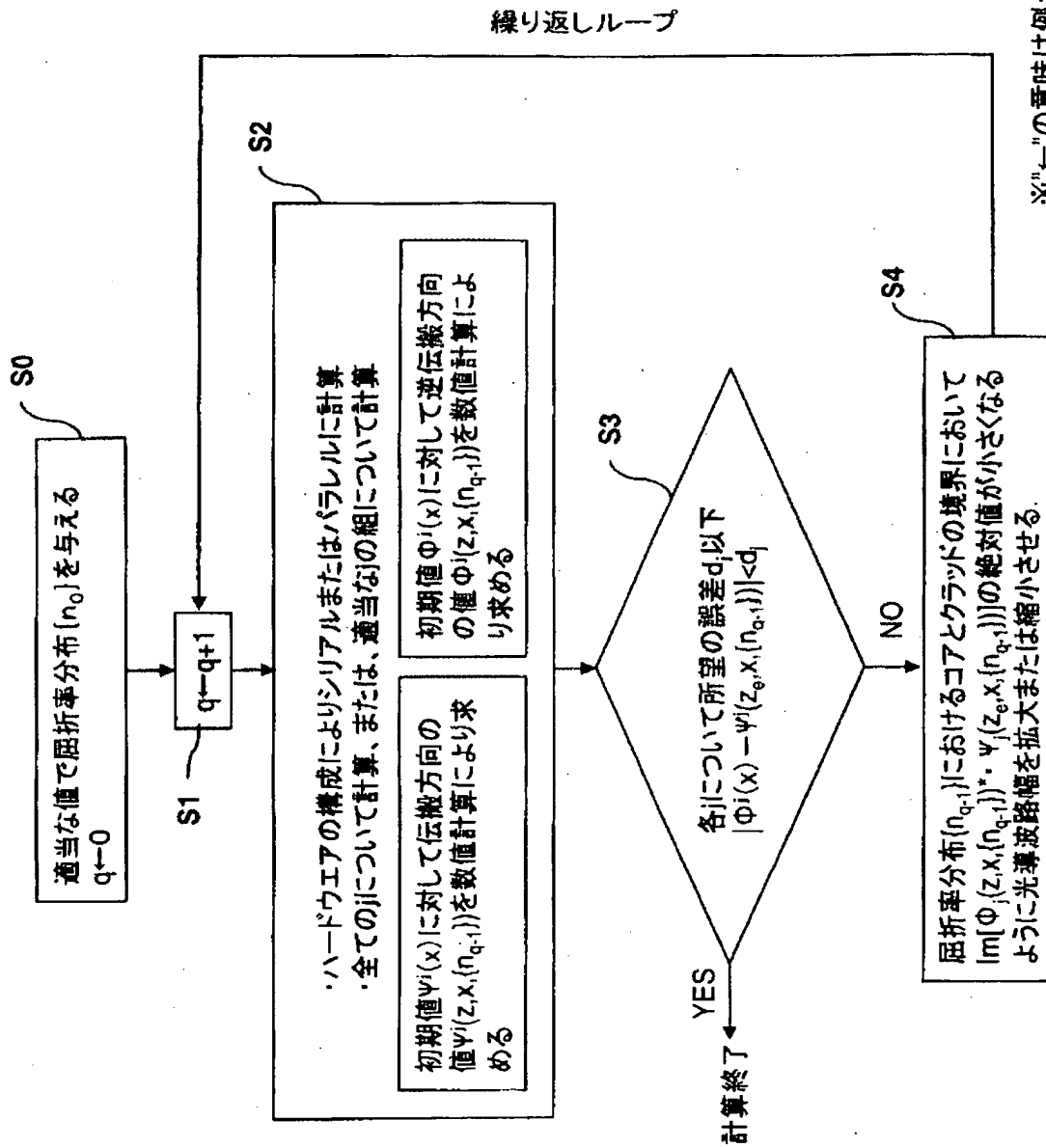


【図 4】



【図 5】

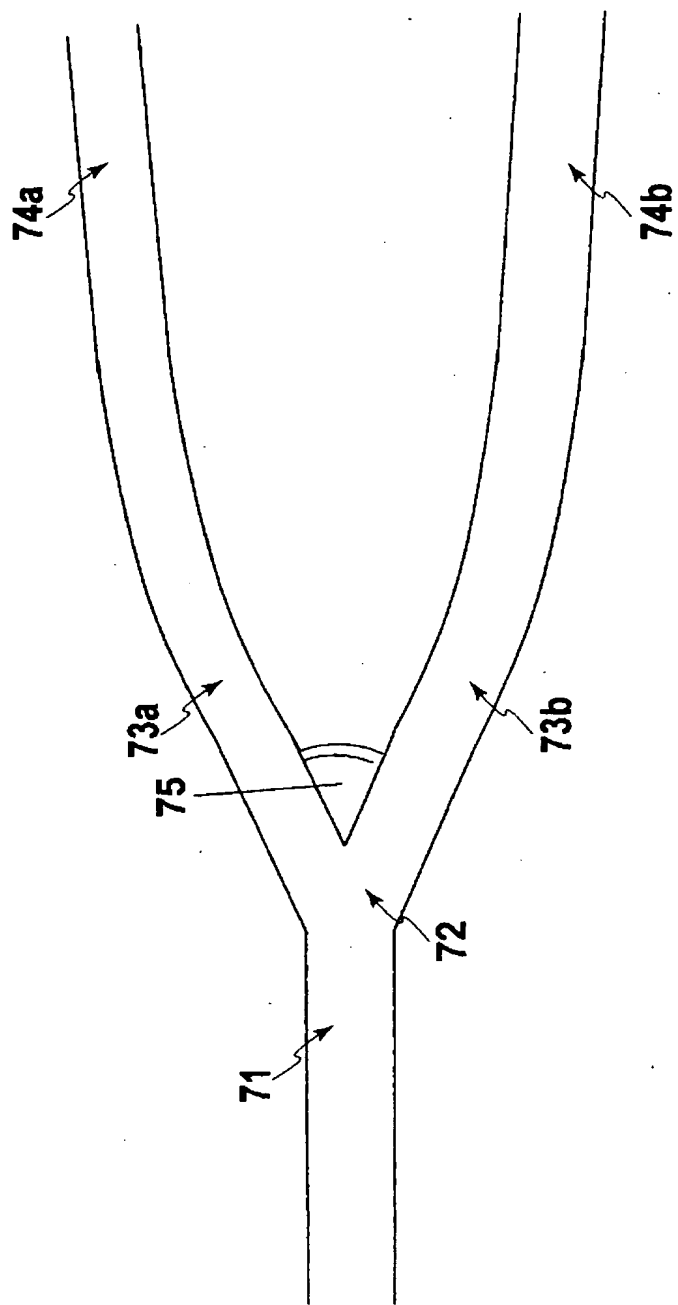




※ $^n \leftarrow$ の意味は例えば

$$A \leftarrow B+C$$

は A に B と C の和を代入することを表す



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 従来の光分岐回路においては、分岐回路の小型化を行うために、分岐角度を大きくすると、信号光の光結合損失が大きくなり、分岐比が所望の設計値から外れるなどの問題があった。

【解決手段】 光分岐回路に、コア幅が非周期に変動する光導波路からなる高次モードまたは放射モード結合手段と、コア幅が非周期に変動する光導波路および分岐光導波路からなる高次モードまたは放射モード再結合手段を設け、光結合損失を低減させて光分岐比が安定した光分岐回路が提供される。また、入射光フィールドと出射光の逆伝播フィールドを計算して、2つのフィールドの位相差を最小化するようにコア幅のみを変化させることで非周期的に変動するコア幅が決定できる。1次モードを除去する機能を備えることにより、分岐比が安定する。

【選択図】 図1

出願人履歴

0 0 0 0 0 4 2 2 6

19990715

住所変更

5 9 1 0 2 9 2 8 6

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

日本電信電話株式会社